

# 生物生息適地モデルと相補性解析による 河川における環境保全優先箇所を選定

前田義志・上野裕介・中村圭吾・服部 敦

## 1. はじめに

「人と自然との共存社会」の実現という社会資本整備目標の達成に向け、自然環境や生物多様性の保全が主要課題の1つとなっている。2010年には、名古屋で生物多様性条約第10回締約国会議(COP10)が開催され、2020年までに生物多様性の損失をくい止めるための効果的かつ緊急の行動の必要性と具体的な数値目標を取り入れた愛知目標が採択された。河川分野でも、2013年4月の社会資本整備審議会の答申において、具体的な河川環境の目標設定に努めることが明記された<sup>1)</sup>。

河川環境保全のためには、具体的かつ定量的な環境目標を設定し、維持、管理、改善していく必要がある。その設定においては、河川のどの部分がより重要な区域であるか、どの部分を優先的に保全する必要があるか等について選定することが重要となる。しかし「現状では、洪水等の自然現象や河川の管理に伴い河川環境がどのように変化するか科学的に十分解明されていないことや、河川環境の評価手法が確立していないことから、河川環境の管理目標を具体的に設定しづらい状況にある」<sup>1)</sup>。このため、現状の河川環境を定量的に把握・評価し、河川改修等の影響を将来予測できるモデルの開発が必要である。

本報告では、国土交通省関東地方整備局管内の1級河川多摩川の直轄区間をモデルケースとして、河川環境の定量的な把握・評価手法の1つとして生息適地モデルによる生息ポテンシャル(生物の棲みやすさを数値化したもの)の現況推定と相補性解析による優先的に保全する箇所の抽出を試み、河川環境保全分野での技術的有効性を検討した。

## 2. 生息適地モデルと相補性解析

### 2.1 生息適地モデルとは

生息適地モデルとは、生物種の分布パターンと環境要因の関係を統計モデルにより解析すること

で、その種の生息にとって重要な環境を定量的に評価する手法である<sup>2)</sup>。この手法を用いることで、生物調査が行われていない地域であっても、対象地域の環境条件から生息ポテンシャルを推定することができる<sup>2)</sup>。全国の国直轄河川区間では、河川水辺の国勢調査(以下「国勢調査」という。)による生物情報と連続した1km毎の物理環境データ<sup>3)</sup>が取得されている。国勢調査では、調査箇所が不連続であり、河川全域の生物生息を評価するには不十分であった。そこで、河川全域の連続的な生物生息の評価には、「生息適地モデル」による生息ポテンシャルの推定技術が役立つ。

### 2.2 相補性解析とは

近年、生物多様性の保全計画の分野では、保全上の重要箇所や優先度の検討に「相補性」と「非代替性」という新たな考え方が導入されるようになってきた<sup>4)</sup>。この理由は、従来型の保全計画において重視されてきた「種数の多さ」や「希少種の生息有無」だけでは見過ごされがちな、保全上重要な場所を選定するためである。例えば、ある流域内に生息する5種(種A, B, C, D, E)を保全目標種とし、複数の保全候補地から最も費用や労力の少ない保全箇所の組合せを探索したいとする。この時、5種の生物が、4地点( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ )にそれぞれ $\alpha$ (A, B, C)、 $\beta$ (A, B)、 $\gamma$ (B, C, D)、 $\delta$ (D, E)の組合せで分布していた場合、最低限、地点 $\alpha$ と $\delta$ を守ることによって、5種全てを保全することができる。すなわち $\alpha$ と $\delta$ は、種の組合せにおいて互いに補い合う関係(相補性)があると言える。また $\delta$ は、4地点の中で唯一、種Eが生息しており、他の場所にない特徴(非代替性)を持っている。ここで種Eが希少種であるかどうかは問題ではなく、あくまで保全目標種Eが、 $\delta$ にしか生息していないことが重要である。一方、4地点の中で、 $\gamma$ は $\alpha$ と並んで種数が最も多い。上述の相補性、非代替性の視点に立てば、 $\gamma$ よりも $\alpha$ の保全優先度が高いと言えるが、生物多様性保全の観点からは、種数が多い $\gamma$ も重要であることに変わりはない。したがって

相補性と非代替性の解析（以下、まとめて「相補性解析」という。）とは、限られた努力量で全ての保全対象種の保全を検討する際に、優先的に保全すべき箇所を選定するための思考ツールと言える。

### 3. 定量的評価に基づく保全優先箇所の選定

本報告での解析フローの全体像を図-1に示す。

#### 3.1 生息適地モデルの構築

生息適地モデルの構築には、生物の分布と環境要因の情報が必要になる。そこで本報告では、生物の分布情報には、全国で2001～2005年度に実施された3巡目の国勢調査（本川のみ、国内移入種除く）の結果を用いた。対象種は、多摩川水系で確認されている希少魚類10種（①スナヤツメ類（在データ数5）、②ニホンウナギ（同21）、③キンブナ（同3）、④ホトケドジョウ（同3）、⑤ギバチ（同17）、⑥アカザ（同4）、⑦ヤマメ（同6）、⑧メダカ（同22）、⑨カジカ（同8）、⑩ジュズカケハゼ（同13））とした。希少種の基準は、「環境省版レッドリスト」において、準絶滅危惧（NT）以上に該当する種とした。

解析に使用する環境要因は、河川物理環境に関する指標とし、「社会資本重点整備計画策定のための物理環境調査」<sup>3)</sup>により2007年に実施された、1級河川直轄管理区間の距離標（1km）毎に区切った範囲の値を用いた。特に、国勢調査3巡目

とほぼ重なる期間V（2001年～2006年度）のデータを利用した。これらの中から、対象魚種の生態的特徴をふまえ、選定した（表-1）。

本報告では、多摩川水系をモデルケースとしているが、モデル化の対象が希少種であったため、多摩川水系の生物分布情報だけではデータ数が不十分であった。そのため、多摩川を含む関東地方整備局の管理河川の8水系（久慈川、那珂川、利根川、荒川、多摩川、鶴見川、相模川、富士川の計70調査地区）の生物分布（在データ）と環境要因を用いてモデル化を行った。また解析手法についても、少数の在データによる分布推定であっても比較的精度が高いとされている機械学習の一種「MaxEnt<sup>5)</sup>」を採用した。MaxEntは、最大エントロピー法（Maximum Entropy）を利用して計算を行うソフトウェアであり、最大の特徴は、対象生物の存在が確認された位置情報（在データ）と予測対象範囲の環境要因で解析できる点である。なお、このMaxEntは、ウェブサイトから、無料でダウンロード可能である（<https://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>）。

#### 3.2 多摩川における生息ポテンシャルの推定

3.1で作成したモデルを用いて、多摩川の直轄管理区間（0～61.8kp）について、1km毎の生息ポテンシャルを推定した。また推定した生息ポテンシャル値をもとに、地図に示した。

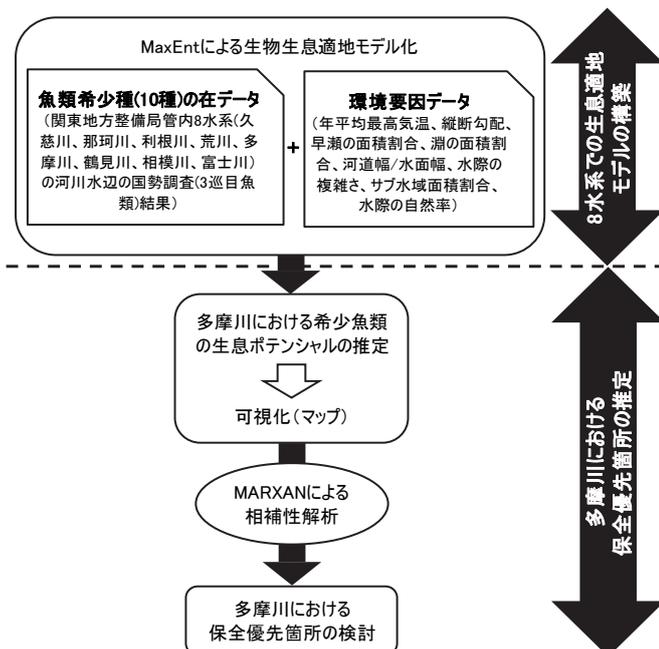


図-1 生息適地モデルとMARXANによる保全優先箇所の推定

表-1 環境要因データの収集・整理方法

データの種類	データ入手先	処理方法	出典	
気象	年平均最高気温 国土数値情報 平年値メッシュデータ(1kmメッシュ、1981～2010年の30年平年値)	日最高値の年平均(°C)	①	
地形	縦断勾配 国土数値情報 標高・傾斜度3次メッシュデータ(1kmメッシュ、平成23年度)	標高をもとに本業務にて縦断勾配を計算		
河川構造	早瀬の面積割合	社会資本重点整備計画のための物理環境調査結果	②	
	淵の面積割合			開放水面面積(国勢調査(植物))に対する早瀬面積(国勢調査(河川))の占める割合
	河道幅/水面幅			開放水面面積(国勢調査(植物))に対する淵面積(国勢調査(河川))の占める割合
	水際の複雑さ			河道幅/水面幅(空中写真・河川環境情報図)
	サブ水域面積割合			水際の延長距離/流心部の延長距離(空中写真・河川環境情報図)
水際の自然率	開放水面面積(国勢調査(植物))に対するサブ水域面積(国勢調査(河川))の占める割合	水際距離に対する自然水際距離(国勢調査(河川))の占める割合		

出典①: 国土数値情報ダウンロードサービス 平年値メッシュデータ(<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>)  
 出典②: 社会資本重点整備計画のための物理環境調査結果とは、既存調査結果(国勢調査結果等)の引用や河川環境情報図や空中写真判読等により、河川の物理環境を1km毎に数値化したデータである。

### 3.3 相補性解析

相補性解析では、区間毎の希少種各種の在・不在データが必要である。一方で、対象河川の全区間についての生物の分布情報はない。そこで、3.2において生息適地モデルで推定した生息ポテンシャルの推定結果を基に、生息ポテンシャルがある閾値以上の場所は、便宜的にその種が分布すると仮定することとした。閾値の設定には、生息ポテンシャルと国勢調査の実測データを比較し、正答率と適合率がともに高くなる値を用いた。正答率とは、実際に「種が生息（または非生息）」の地区のうち、正しく予測できた地区の割合を示す（表-2）。適合率とは、予測で「在」とした地区のうち、実際に「在」であった地区の割合を示す（表-2）。

相補性の計算は、全地点の全種の組合せについて総当たりで行おうとすると、計算量が天文学的な数字になる。このため、ランダムな組合せを多数発生させ（例：1万回）、その中からより良い組合せを探りあてるという簡易な計算方法を探ることがある。このような相補性解析のプログラムにMARXAN（マークサン）があり、活用実績も豊富である<sup>6)</sup>。そこで本研究では、各区間の種の分布の有無（在・不在）を指標として、MARXANによる相補性解析を行うこととした。

また、保全優先区間の抽出精度を高めるため、MARXANによる抽出を100回繰り返し、各区間の選定頻度（抽出回数/100回）を調べた。保全優先度は、各区間の選定頻度を基に5段階に区分し、100回中100回選定された区間（選定頻度は100%）は最も優先度が高い保全優先度1、100回中99～67回を保全優先度2、66～34回を保全優先度3、33～1回を保全優先度4とし、1度も選ばれなかった区間を最も優先度が低い保全優先度5とした。なお、この選定頻度は、冒頭に述べた「非代替性」

表-2 正答率と適合率の計算方法

ニホンウナギ (n=70)	予測		計
	在	不在	
実測 在	10	11	21
実測 不在	3	46	49
計	13	57	70

正答率 = (10+46)/70 = 80.0%  
 適合率 = 10/13 = 76.9%

※・実測は、国勢調査の結果における「在」、「不在」の調査地区数。  
 ・予測は、MaxEntによる「在」、「不在」の予測地区数。なお、在、不在の閾値は0.6。

の程度を示し、選択頻度の高い区間を組み合わせることで多くの種が生息する「相補性」の高い区間選びができる。これらを計算するためのMARXANは、ウェブサイトから無料でダウンロード可能である(<http://www.uq.edu.au/marxan/>)。

## 4. 保全優先箇所の選定結果

### 4.1 希少魚類の生息適地モデル化の結果

MaxEntによって推定された各説明変数の寄与率と応答曲線の形状（正/負の寄与）、モデルの適合度（AUC）を表-3に示す。なお、応答曲線の形状は、寄与率が10以上のものについて判断を行うこととし、応答のタイプを単調増加（+）と単調減少（-）、応答が放物線を描くように1つのピークを示すもの（凸）、応答が複雑で判別不能または変化の乏しいもの（?）に分類した。例えば、スナヤツメ類は、「サブ水域面積割合」が単調減少（-）、すなわち面積が少ない場所ほど生息ポテンシャルが高いと推定された。また「水際の自然率」は高いほど、「年平均最高気温」は低いほど生息ポテンシャルが高いと推定された。これらの結果は、生息域がサブ水域の少ない上流部であり、冷水性である本種の生態と一致する。また、カジカも、「縦断勾配」と「早瀬の面積割合」が大きいほど生息ポテンシャルも高く、上流域に生息し、瀬を利用する本種の生態と一致する。一方で、在データ数が少ないキンブナ、ホトケドジョウ、アカザについては、推定の正答率は高いものの、適合率が低くなってしまった。今後、

表-3 MaxEntによる希少魚類のモデル化結果

魚種	ヤスツナメ類	ウニホギン	キンブナ	ドホジトヨケウ	ギバチ	アカザ	ヤマメ	メダカ	カジカ	カジケハズゼ	
在データ数	5	21	3	3	17	4	6	22	8	13	
モデル適合度 (AUC)	0.960	0.895	0.799	0.950	0.760	0.738	0.903	0.769	0.840	0.764	
説明変数の寄与率	年平均最高気温	27.2 (-)	1.0	24.7 (-)	6.7	25.4 (-)	59.2 (+)	8.4	4.8	0.0	49.2 (+)
	縦断勾配	4.6	0.1	0.0	78.6 (+)	0.8	0.0	13.5 (+)	1.1	53.6 (+)	0.0
	早瀬の面積割合	0.8	36.6 (-)	0.0	14.7 (+)	4.5	0.0	0.9	21.8 (-)	26.1 (+)	6.2
	淵の面積割合	0.0	5.7	0.0	0.0	0.0	40.7 (-)	0.3	13.8 (-)	19.6 (-)	0.0
	河道幅/水面幅	10.5 (-)	5.1	0.0	0.0	21.5 (凸)	0.0	24.3 (-)	14.2 (-)	0.7	1.6
	水際の複雑さ	0.3	18.3 (凸)	0.0	0.0	21.4 (+)	0.0	0.0	7.4	0.0	39.6 (+)
	サブ水域面積割合	34.8 (-)	1.6	2.6	0.0	7.5	0.1	52.6 (-)	10.6 (+)	0.0	3.4
	水際の自然率	21.7 (+)	31.6 (-)	72.6 (+)	0.0	18.9 (+)	0.0	0.0	26.3	0.0	0.0

注) AUC (area under the curve) : モデルの当てはまりの良さを表す値で、1に近いほど良い。  
 ■ : 寄与率30以上、 □ : 寄与率20以上30未満、 □ : 寄与率10以上20未満、 □ : 寄与率10未満 ( )は、寄与の正(+)/負(-)

推定の改善が必要である。

また、従来の生態的知見と整合しない部分があった。例えばニホンウナギは、国勢調査では下流域での確認が多かったため、生息適地モデルでは、早瀬が少なく、人工護岸が多い下流域に典型的な河川環境を好適な生息域と推定した(表-3)。しかしニホンウナギは、本来、中・上流部まで生息する。国勢調査及び物理環境調査が、直轄管理区間(河川の中下流域)に偏っているため、このような推定になったと考えられる。

さらに今回のモデルでは、横断工作物の影響や流況、水質などの環境要因は含めていない。推定精度の悪い種については、これらを含めて検討したり、改めて現地を確認したりする必要がある。

#### 4.2 多摩川における希少魚類の生息ポテンシャル

多摩川の直轄管理区間における1km毎の生息ポテンシャルを、生息適地モデルを用いて計算し、地図化した(図-2: スナヤツメ類とカジカを例示)。その結果、両種の生息域である上流部でポテンシャルが高くなっていることが分かった。

次に、生息ポテンシャル値を基に種の在・不在を分類するために、ポテンシャル値0.5、0.6、0.7の3ケースで、多摩川を含む関東地方整備局管内の8水系における国勢調査の実測データ(モデル構築データ)を比較した。その結果、0.6と0.7で、正答率と適合率がともに高い種が多かった。一方、生息ポテンシャル0.7では、データ数が少ないキンブナとホトケドジョウ、アカザ、カジカでは、全区間で「不在」と推定され、適合率が判定できなかった(表-4)。これらのことから、生息ポテンシャル0.6を閾値とし、0.6以上を在、

0.6未満を不在と分類した(表-5)。解析の結果、スナヤツメ類は、閾値によらず、多摩川全域で不在と推定された。

#### 4.3 相補性解析による保全優先箇所の抽出

多摩川における9種の希少魚類の在・不在の推定結果を基に、各種の在と推定された区間数の30%を保全すると仮定し、相補性解析を試みた。

その結果、選定回数が多い区間、つまり多摩川における希少魚類を保全するための優先順位が最も高い区間(保全優先度1)が3箇所抽出された(表-5: 距離標21、45、56kp)。3区間で、9種中8種がカバーされており、限られた区間で多くの種の生息地を保全できるように選定されている。しかしヤマメの生息地(表-5: 距離標58~61kp)は含まれておらず、保全区間の追加が必要である。

#### 4.4 多摩川における保全優先箇所の検討

相補性解析を用いることで、保全優先箇所、つまり限られた区間でできる限り多くの種の生息地を保全するための効率的な選択肢を提示できる。

表-4 生息ポテンシャル別の正答率・適合率

魚種	閾値	正答率 <sup>※</sup>			適合率 <sup>※</sup>		
		0.5	0.6	0.7	0.5	0.6	0.7
スナヤツメ類		100%	97%	96%	100% (5)	100% (3)	100% (2)
ニホンウナギ		86%	80%	76%	74% (23)	77% (13)	75% (8)
キンブナ		86%	90%	89%	18% (11)	17% (6)	- (0)
ホトケドジョウ		96%	93%	96%	50% (6)	25% (4)	- (0)
ギバチ		80%	83%	81%	59% (17)	78% (9)	83% (6)
アカザ		66%	89%	94%	12% (26)	17% (6)	- (0)
ヤマメ		87%	94%	93%	38% (13)	67% (6)	100% (1)
メダカ		52%	70%	71%	21% (29)	54% (13)	100% (2)
カジカ		90%	96%	89%	55% (11)	100% (5)	- (0)
ジュスカケハゼ		77%	81%	84%	44% (18)	60% (5)	100% (3)

※: 正答率及び適合率の求め方は、表-2を参照。  
 ・括弧内の数字は、「在」と予測した地区数を示す。  
 ・適合率が「-」の種は、該当する地区が存在しなかった(「在」と予測された地区がなかった)ことを示す。

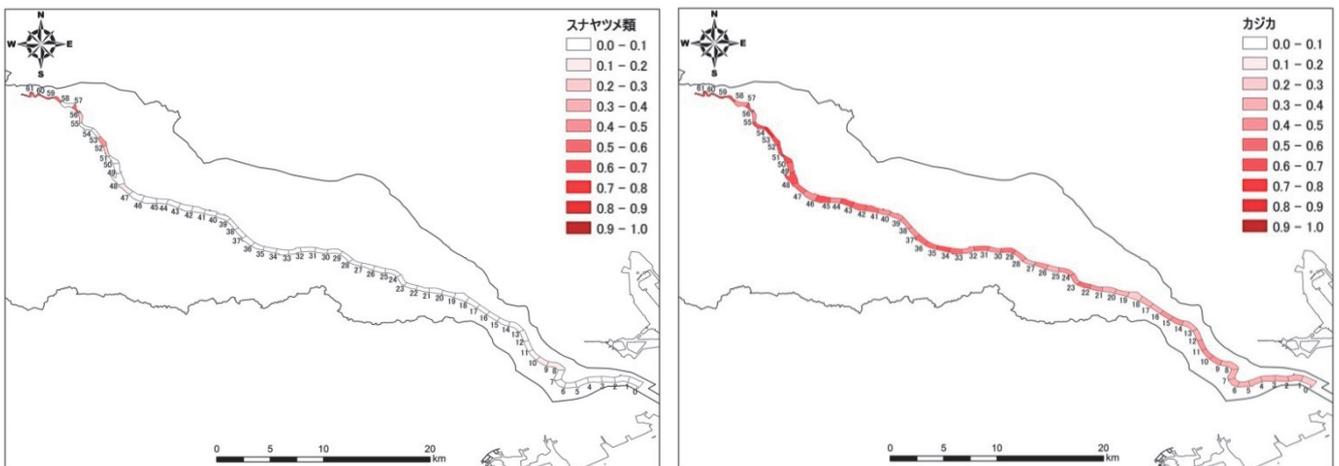


図-2 多摩川における希少魚類の生息ポテンシャルマップの例(左図: スナヤツメ類、右図: カジカ)  
 海岸線及び流域界データは、国土交通省「国土数値情報(海岸線および流域界・非集水域)」を使用した。



このように、生息適地モデルと相補性解析については留意すべき点がいくつかあるものの、調査区間が限られた国勢調査結果を基に、予測対象を非調査地域にも拡大し、流域の保全すべき箇所を抽出することができる点で優れている。さらに、種毎の生息ポテンシャルや環境要因として何が重要であるのか、定量的にわかるとともに、生息ポテンシャルマップや保全優先度マップを作成することで、結果を視覚的に示すことができる。視覚化により、利害関係者への説明資料などにも利用でき、科学的根拠に基づく合意形成に役立つ。

近年、効果的な河川環境管理を実現するためにも、このような定量的な予測・評価手法が不可欠になりつつある<sup>7)</sup>。例えば、過去から現在までの経年的な生息ポテンシャルを推定し、これらの差分から、ある区間の環境（生息ポテンシャル）がどの程度劣化したのか、その原因はいずれの環境要因の変化によるものか等を定量的に評価できる。これにより、河川改修における断面や河道形状をどの様にしたら良いかなどの定量的な検討材料になる。これらの定量的な評価技術は、河川整備計画や河川管理に必要な基礎データを提供し、客観的な自然再生の優先箇所の選定に有効である。

今回は、魚類だけを対象としたが、他の分類群についても同様の検討が可能と考えられる。今後、複数分類群を対象とした生息適地予測と相補性解析を行うことで、流域生態系としての保全優先箇所を明らかにすることができるだろう。また本研究では考慮しなかったものの、相補性解析では、用地取得や保全にかかる費用などのコストに関するパラメーターを追加することもできる。これにより、限られたコストで効率的に保全する箇所（最適な組合せ）を抽出することも可能である。

## 6. まとめ

わが国の河川では、河川水辺の国勢調査や1km区間毎の環境調査の結果が整備されている。一方、それらのデータは直轄管理区間に限定され、調査地点も限られている。既存情報を基に環境目標を立案するためには、情報の空白を補完し、定量的な予測・評価を行う必要がある。そこで本研究では、限られた情報から生物の分布を予測する生息適地モデルを構築し、相補性解析を併用するアプローチを試みた。その結果、河川生物の生息ポテンシャルを定量的に評価し、効率的・効果的な保全箇所を客観的に選定できることが示された。

## 参考文献

- 1) 社会資本整備審議会：安全を持続的に確保するための今後の河川管理のあり方について〔答申〕、2013
- 2) 上野裕介、栗原正夫：GISと生息適地モデルによる広域スケールでの生物の生息環境の評価と地図化の試み、土木技術資料、第56巻、第11号、pp.22～25、2014
- 3) 楯慎一郎、小林稔：物理環境からみた全国河川の状況、リバーフロント研究所報告、第19号、pp.87～95、2008
- 4) 赤坂宗光、森章：自然保護区のマネジメントー設置の計画から管理のあり方まで、エコシステムマネジメントー包括的な生態系の保全と管理へー（森章編）、pp.73～95、共立出版、2012
- 5) Phillips, S. J., Anderson, R. P. and Schapire, R. E.: Maximum entropy modeling of species geographic distributions, Ecological Modelling, Vol.190, pp.231-259, 2006
- 6) 松葉史紗子、赤坂宗光、宮下直：Marxanによる効率的な保全計画：その原理と適用事例、保全生態学研究、20、pp.35～47、2015
- 7) 中村圭吾、服部敦、福濱方哉、萱場祐一、堂園俊多、金縄健一、福永和久：河川環境管理の実効性を高める考え方と取組み、河川、10月号、pp.50～54、2015

前田義志



研究当時 国土交通省  
国土技術政策総合研究所河  
川研究部河川研究室交流  
研究員、現 (株)パスコ、  
博(農)  
Dr. Yoshiyuki MAEDA

上野裕介



研究当時 国土交通省  
国土技術政策総合研究所防  
災・メンテナンス基盤研  
究センター緑化生態研  
究室研究員、現 東邦大  
理学部、博(水産科学)  
Dr. Yusuke UENO

中村圭吾



国土交通省国土技術政策  
総合研究所河川研究部河  
川研究室 主任研究員、  
博(工)  
Dr. Keigo NAKAMURA

服部 敦



国土交通省国土技術政策  
総合研究所河川研究部河  
川研究室長、博(工)  
Dr. Atsushi HATTORI